

Caracterización de imágenes obtenidas desde la Estación Astrofísica de Bosque Alegre

A. Martínez-Bezoky^{1,2}, A.R. Callen^{1,2}, J.C. Rapoport^{1,2}, C. Cerdosino^{1,3,4}, I. Bustos-Fierro² & L.R. Vega-Neme^{3,4}

¹ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, UNC, Argentina

² Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina

³ Instituto de Astronomía Teórica y Experimental, CONICET-UNC, Argentina

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Received: 09 February 2024 / Accepted: 01 June 2024

©The Authors 2024

Resumen / Conocer el proceso de observación y procesamiento de imágenes astronómicas es uno de los objetivos fundamentales de la enseñanza universitaria de la astronomía. Es por ello que se presenta, dentro del marco de la materia Astrometría General (FAMAF, UNC), un trabajo de adquisición y reducción de imágenes realizadas en la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, de tres objetos: NGC 6316, MCG -06-30-15 y WR 40. Posteriormente, utilizando fotometría de apertura, se calculan las magnitudes instrumentales de ocho estrellas pertenecientes a NGC 6316. Finalmente, se comparan los datos fotométricos obtenidos con los existentes en la literatura.

Abstract / Knowing the process of observing and processing of astronomical images is one of the fundamental goals of teaching of astronomy. That is why, within the framework of the subject General Astrometry (FAMAF, UNC), a work of acquisition and reduction of images carried out at the Bosque Alegre Astrophysical Station, of three objects: NGC 6316, MCG -06-30-15 and WR 40 is presented. Using aperture photometry, the instrumental magnitudes of eight stars belonging to NGC 6316 are calculated. Finally, the photometric data obtained are compared to those existing in the literature.

Keywords / globular clusters: individual (NGC 6316) — galaxies: individual (MCG -06-30-15) — stars: Wolf-Rayet — stars: individual (WR 40) — techniques: image processing

1. Introducción

La utilización de telescopios argentinos en la realización de observaciones astronómicas emerge como una herramienta poderosa para la enseñanza universitaria de la Astronomía. Integrar su uso en el currículo académico posibilita la introducción de los estudiantes en las labores de observación e investigación, promoviendo una comprensión más profunda del proceso involucrado en la adquisición y procesamiento de imágenes astronómicas.

En este contexto, se realizaron observaciones astronómicas como parte de los prácticos de la materia Astrometría General, correspondiente al cuarto año de la Licenciatura en Astronomía de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Las observaciones fueron realizadas desde la Estación Astrofísica de Bosque Alegre (EABA) dependiente del Observatorio Astronómico de Córdoba. Los objetos seleccionados formaban parte de los prácticos de la materia durante el primer cuatrimestre de 2023, y resultaron todos observables desde EABA en dicho cuatrimestre. Los tres objetos astronómicos son: NGC 6316, MCG -06-30-15 y WR 40. Las observaciones consistieron en imágenes en los filtros V, R e I de los objetos de programa, además de las imágenes de calibración Bias, Flats y Darks.

NGC 6316 es un cúmulo globular antiguo (~ 13.1

± 0.5) Gyr perteneciente a la Vía Láctea, ubicado en la constelación de Ofiuco, a una distancia $D = (11.3 \pm 0.3)$ kpc del Sol, en las coordenadas J2000 α : 17h 13m 28.6s, δ : $-28^\circ 05'08''.4$ ((Deras et al., 2023)).

MCG -06-30-15 es una galaxia espiral de tipo temprano que contiene un núcleo activo del tipo Seyfert 1.2, y se encuentra ubicada a una distancia $D = (25.5 \pm 3.5)$ Mpc, según los datos de la Extragalactic Distance Database *. Sus coordenadas J2000 son α : 13h 33m 01.8s, δ : $-34^\circ 02'25''.7$.

HD 96548, también conocida como WR 40, es una estrella Wolf-Rayet de tipo WN8h (Smith et al., 1996) ubicada en la constelación de Carina a una distancia $D = (2.80 \pm 0.13)$ kpc, en las coordenadas J2000 α : 11h 06m 17.2s, δ : $-65^\circ 30'35''.2$ (Ignace et al., 2022).

De los 3 objetos observados, sólo en el campo de NGC 6316 se llevó a cabo un análisis multibanda, obteniendo magnitudes instrumentales en cada filtro para algunas estrellas. Estas magnitudes se compararon con datos fotométricos disponibles en la literatura especializada.

Este estudio tiene como objetivo resaltar el valor educativo y científico que aporta la utilización de telescopios argentinos en la enseñanza universitaria, al tiem-

*<https://edd.ifa.hawaii.edu/>

Tabla 1. Tiempos de exposición, filtros utilizados y número de imágenes por filtro para cada objeto.

Objeto	Exp. I [s]	Exp. R [s]	Exp. V [s]	n° de imágenes
NGC 6316	120	120	120	10
MCG -06-30-15	180	180	180	10
WR 40	15	30	120	20

po que fomenta una mayor comprensión de la Astronomía a través de la experiencia práctica en la observación y procesamiento de imágenes astronómicas.

2. Observaciones

Las observaciones fueron realizadas el 13 de Mayo de 2023 con el telescopio principal de la EABA en el modo observación remota. Este telescopio se encuentra ubicado sobre montura ecuatorial y tiene una configuración óptica newtoniana con un espejo primario de 1.54m de diámetro, $f/4.9$. El detector es un CCD Alta U9, con un campo de $12.7' \times 8.5'$ y una escala de placa de $0.74''/px$ (binning 3×3). Fueron utilizados para las observaciones los filtros V, R e I correspondientes al sistema Johnson-Cousins. El seeing de la noche fue de $2.0''$ a $2.6''$, el cual fue medido a partir de las imágenes tomadas durante la noche de observación.

Los tiempos de exposición, filtros utilizados y número de imágenes por filtro para cada objeto se especifican en la Tabla 1. Los tiempos de exposición fueron seleccionados de acuerdo a un análisis de la relación señal-a-ruido de cada objeto. Se buscó la mayor señal posible pero cuidando de no llegar a la saturación, siendo esta de 55 para los objetos estelares y 33 para la galaxia.

2.1. Reducción

El procesamiento de las imágenes fue realizado con el software IRAF** (Image Reduction and Analysis Facility), utilizándose las tareas usuales.

Para reducir las imágenes de calibración, se cargaron los paquetes IMRED y CCDRED. Dentro de este último se utilizó:

- ZEROCOMBINE, combina los bias en una sola imagen, el master bias.
- FLATCOMBINE, corrige cada flat por el master bias y luego combina los flats corregidos en un master flat

Luego, para procesar las imágenes de ciencia se utilizó CCDPROC, la tarea responsable de corregir dichas imágenes con las imágenes de calibración combinadas. Finalmente, se utilizó IMCOMBINE para combinar todas las imágenes de ciencia corregidas, obteniendo una sola imagen para cada objeto en cada filtro.

Se obtuvieron imágenes promedio de los diferentes Bias y correspondientes Flats, estos últimos para cada filtro fotométrico utilizado. Luego de evaluar las contribuciones de los ruidos involucrados en cada paso de

reducción, se tomó la decisión de no corregir las imágenes por corriente de oscuridad (dark) ya que al aplicar la corrección se incrementaba significativamente el ruido.

Posteriormente, a fin de aumentar la relación señal/ruido de cada objeto, se realizaron combinaciones de todas las imágenes tomadas. Para cada objeto se tuvo el cuidado de alinear las imágenes individuales antes de la combinación correspondiente, haciendo uso de las tareas IMSHIFT e IMALIGN.

En la figura 1, se pueden observar en el panel superior las imágenes sin procesar, siendo la columna izquierda correspondiente a WR 40 (filtro I), la columna central a MCG -06-30-15 (filtro R) y la columna derecha a NGC 6316 (filtro V). En el panel inferior se presentan las imágenes procesadas y combinadas, permitiendo de este modo comparar los resultados obtenidos luego de la reducción de estas imágenes.

2.2. Determinación de magnitudes de NGC 6316

Se realizó la fotometría en las estrellas de campo de NGC 6316 para los filtros V e I. La fotometría de apertura consiste en sumar el flujo medido procedente del objeto de estudio (en nuestro caso las estrellas seleccionadas) en un área centrada en el mismo. Para ello es necesario determinar el centro del objeto, el radio de apertura, el flujo del fondo de cielo en la región de apertura, y finalmente calcular la magnitud instrumental del objeto a partir del flujo medido.

El radio de apertura se estableció teniendo en cuenta el seeing de la imagen, de forma tal que, asumiendo una excentricidad 0, nos aseguramos que el área de fotometría abarque completamente la mayor parte de la luz emitida por el objeto de estudio. Es importante escoger bien dichos radios, ya que si son pequeños podemos dejar de medir parte del flujo de la estrella e introducir errores sistemáticos, y si son demasiado grandes perderemos precisión en la medición de dichos flujos al estar abarcando parte del cielo y posible contaminación por objetos cercanos.

A las estrellas pertenecientes a NGC 6316 que se señalan en la figura 2, a excepción de la estrella 4, se les realizó fotometría de apertura para el cálculo de su magnitud instrumental en los filtros V e I. Sin embargo, en el caso del filtro R no se llevó a cabo dicho procedimiento ya que no se encontraron datos en la literatura respecto a estas magnitudes con los que se pueda realizar una comparación posteriormente. La decisión de excluir la estrella 4 fue basada en el hecho de que se encuentra muy cercana a otra estrella, lo que contamina la fotometría de apertura. En la tabla 2 se presentan las coordenadas de las estrellas utilizadas.

Se utilizaron las tareas de IRAF del paquete APPHOT (Aperture Photometry), correspondientes a fotometría de apertura. Este paquete se encarga, entre otras cosas, de calcular el flujo del fondo del cielo alrededor de cada estrella seleccionada, considerando los píxeles en un anillo centrado en la misma. Se tomaron radios de 2.5, 3 y 4 píxeles, para realizar luego una comparación entre ellos y determinar cual brinda un mejor resultado. A través de estas tareas se calcularon las magnitudes instrumentales de cada estrella indicada anteriormente,

**<https://www.iraf.net/>



Fig. 1. Imágenes tomadas el 13/5/23 con el telescopio principal de la EABA. Norte arriba, Este a la derecha. *Panel superior:* Imágenes sin procesar. *Panel inferior:* imágenes procesadas y combinadas. *Columna izquierda:* WR 40, filtro I. *Columna central:* MCG -06-30-15, filtro R. *Columna derecha:* NGC 6316, filtro V.



Fig. 2. NGC 6316, identificación de las estrellas utilizadas para el cálculo de magnitudes instrumentales. Imagen tomada el 13/5/23 con el telescopio principal de la EABA. Norte arriba, Este a la izquierda.

en los filtros V e I.

Por último, realizamos un ajuste lineal entre las magnitudes V e I de (Dias et al., 2016), y las magnitudes instrumentales que se calcularon con IRAF, con el fin de evaluar la calidad de nuestro trabajo. Los datos del ajuste se presentan en la tabla 3, y las rectas correspondientes a éste, en la figura 3.

Tabla 2. Coordenadas J2000 de las estrellas de NGC 6316 utilizadas para el cálculo de magnitud instrumental.

Estrella	α	δ
	[h m s]	[° ' "]
1	17 16 38.8	-28 09 12.9
2	17 16 41.4	-28 07 54.8
3	17 16 39.0	-28 07 21.2
5	17 16 39.6	-28 09 43.9
6	17 16 35.5	-28 06 55.5
7	17 16 31.5	-28 07 29.1
8	17 16 41.6	-28 10 23.5
9	17 16 30.6	-28 06 35.7

Tabla 3. Parámetros de Ajuste

Parámetros de ajuste	Radio 2.5	Radio 3	Radio 4
	Filtro I		
Correlación	0.991	0.993	0.995
Desviación Estándar	0.060	0.053	0.045
	Filtro V		
Correlación	0.9645	0.9652	0.9311
Desviación Estándar	0.0897	0.0867	0.1154

3. Resultados

En la Figura 1 podemos observar que luego de realizar las correcciones las imágenes presentan una mejoría apreciable, desapareciendo la mayor parte de los efectos asociados al CCD. Ciertos casos, como las líneas observadas en el panel central, no pudieron ser completamente eliminados.

En la determinación de magnitudes instrumentales de las estrellas de NGC 6316, utilizando fotometría de

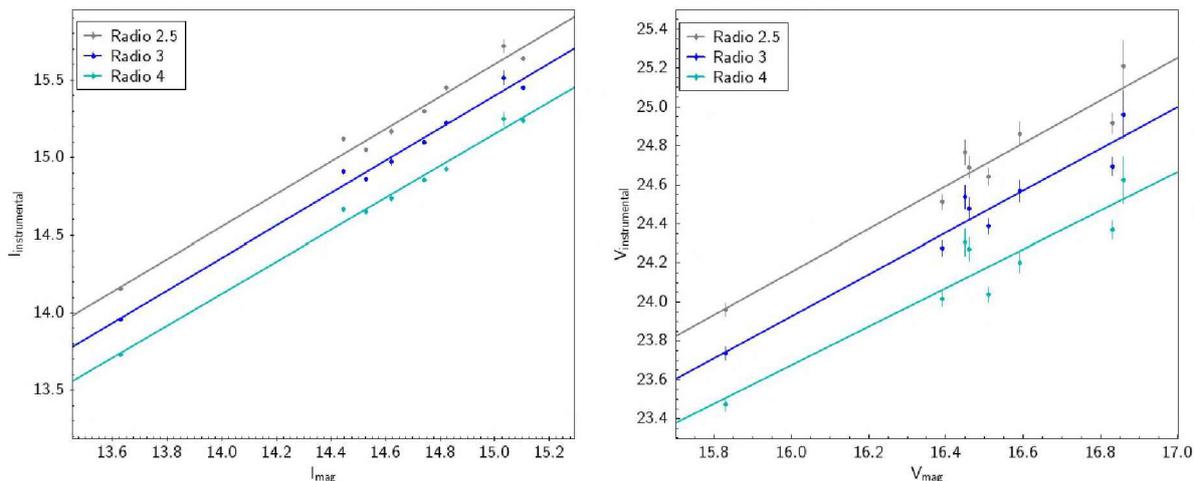


Fig. 3. Ajuste lineal de las magnitudes instrumentales en función de las magnitudes encontradas en la literatura, para los tres diafragmas utilizados. *Panel izquierdo:* filtro I. *Panel derecho:* filtro V

Tabla 4. Magnitudes I_{mag} y V_{mag} de Dias et al.(2016), comparadas con las magnitudes instrumentales para el mejor radio en cada filtro.

Estrella	I_{mag}	I_4	V_{mag}	V_3
1	15.03	15.25	16.86	24.96
2	14.62	14.74	16.46	24.48
3	13.63	13.73	15.83	23.74
5	14.44	14.67	16.45	24.54
6	14.53	14.65	16.39	24.78
7	14.74	14.86	16.51	24.39
8	14.82	14.93	16.59	24.57
9	15.10	15.24	16.83	24.69

apertura, se obtuvo para el caso del filtro I que el radio de 4 píxeles (I_4) nos brinda mejores parámetros de ajuste, mientras que en el filtro V, los mejores resultados se obtuvieron con el radio de 3 píxeles (V_3). Los valores correspondientes se muestran en la tabla 4. Cabe mencionar que al tratarse de una comparación entre magnitudes estándar y magnitudes instrumentales, no es de esperar que los valores calculados sean iguales a los encontrados en la literatura, sino que nos interesa comprobar la relación lineal y evaluar su dispersión.

4. Conclusiones

Con esta práctica hemos comprobado que utilizando el procesamiento estándar y posterior combinación de

imágenes CCD adquiridas en la EABA, empleando las tareas usuales de IRAF, es posible hacer fotometría de apertura de estrellas en campos poco densos con una incerteza de 0.05mag en I y 0.09mag en V.

Finalmente, es importante que se conozcan las posibilidades de la imagen directa con el telescopio de 1.54m de la EABA, ya que cualquier miembro de la comunidad astronómica nacional puede solicitar tiempo en esta facilidad observacional en modo remoto, con los filtros actualmente disponibles: U, B, V, R, I, H-alfa y H-beta.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la FaMAF, al OAC y al COL por hacer posible la participación en la 65° RAAA.

Referencias

- Deras D., et al., 2023, ApJ, 942, 104
 Dias B., et al., 2016, A&A, 590, A9
 Ignace R., Ramiaramanantsoa T., Moffat A., 2022, *American Astronomical Society Meeting Abstracts, American Astronomical Society Meeting Abstracts*, vol. 54, 111.01
 Smith L.F., Shara M.M., Moffat A.F.J., 1996, MNRAS, 281, 163